

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Analisis Struktur Portal

Pada perhitungan konstruksi portal atau analisis struktur portal telah dikenal struktur portal 2 dimensi dan struktur portal 3 dimensi.

##### 1. Portal 2 dimensi

Pada perhitungan analisis struktur portal 2 dimensi telah dikenal suatu metode yang cukup populer, yaitu metode dari *Hardy Cross*, yang mendasarkan pada prinsip distribusi dan induksi momen.

Untuk perhitungan portal 2 dimensi bertingkat banyak, metode *Cross* ini sudah tidak praktis lagi, karena harus dihitung momen goyangan pada masing-masing tingkat ditambah momen akibat muatan luar dan pemecahan bilangan konstanta akibat gaya dan muatan luar.

Beberapa waktu berselang, telah dapat dipecahkan suatu metode untuk menyederhanakan perhitungan konstruksi portal bertingkat yang mula-mula dikenal dengan metode *Kani*, dimana pada metode ini hanya diperlukan suatu momen hitungan pemberesan momen, sehingga tidak lagi memerlukan pemecahan banyak persamaan dengan banyak perbandingan. Namun demikian, masih ada metode yang lebih sederhana lagi yaitu metode *Takabeya*, yang merupakan penyederhanaan dan penyempurnaan dari metode *Kani*.

Pada saat sekarang ini komputer mikro sudah memasuki hampir disetiap kehidupan manusia dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, mulai dari bidang teknik sampai bisnis. Pada bidang teknik dikenal suatu

program yang cukup populer yaitu program *Microfeap* yang digunakan untuk analisis struktur portal 2 dimensi, dan masih banyak program-program komputer bidang teknik yang lainnya.

## 2. Portal 3 dimensi

Analisis struktur 3 dimensi atau konstruksi ruang adalah merupakan penyempurnaan dari analisis struktur 2 dimensi atau konstruksi bidang. Analisis 3 dimensi pada mulanya digunakan oleh teori Elastisitas dan terus berkembang sampai pada teori Elemen Beda Hingga atau *Finite Elemen*.

Pada saat sekarang ini komputer mikro sudah memasuki hampir disetiap kehidupan manusia dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, mulai dari bidang teknik sampai bisnis. Pada bidang teknik dikenal suatu program komputer yang dapat digunakan untuk menganalisis struktur 3 dimensi yang salah satunya yaitu program komputer SAP-90 yang konsep dasarnya dari metode Elemen Beda Hingga atau *Finite Elemen* yang dapat digunakan untuk analisis struktur portal 2 dimensi dan analisis struktur portal 3 dimensi dan masih banyak program-program komputer dibidang teknik yang lainnya.

## 3. Kelemahan dan Keunggulan Program SAP-90

Didalam Tugas Akhir ini penyusun akan menggunakan analisis struktur 3 dimensi dengan bantuan program komputer SAP-90, yang saat sekarang ini merupakan hal yang bukan baru lagi di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, bahkan sudah ada program komputer SAP-2000 yang berbasis Windows yang lebih canggih.

Sudah menjadi hal yang sangat lumrah dalam hubungannya dengan kehidupan manusia yang tidak akan mungkin sempurna, pasti akan ada

kelemahan dan keunggulannya. Demikian juga dengan analisis 3 dimensi dengan bantuan program komputer SAP-90 yang hanya merupakan hasil karya manusia dalam bidang keteknikan, tentunya mempunyai banyak kelemahan dan keunggulannya yaitu antara lain : (Sumber : Modul SAP-90 Sigma Data Computer).

a. Kelemahannya

- 1) Program analisis struktur 3 dimensi SAP-90 hanya dapat digunakan atau dijalankan pada komputer yang mempunyai hard disk dengan kapasitas minimal 640 K byte.
- 2) Tidak dapat dengan windows tapi under DOS.
- 3) Mempunyai batasan ataupun kontrol-kontrol yang bervariasi.
- 4) Untuk portal yang sederhana kurang efisien.

b. Keunggulannya

- 1) Program SAP-90 dapat menganalisis portal yang balok ataupun kolomnya tidak simetris.
- 2) Fasilitas generasi yang meliputi generasi join, generasi elemen dan generasi pembebanan yang bervariasi.
- 3) Analisis struktur 3 dimensi, bisa dikatakan seperti atau mendekati keadaan konstruksi sesungguhnya dilapangan.
- 4) Besarnya pembebanan bisa dilihat atau diketahui kalau ada kesalahan.
- 5) Kombinasi beban yang sangat bervariasi.
- 6) Adanya kontrol kesalahan pemasukan data.

## B. Analisis Struktur Beton

Struktur beton meliputi beton dan beton bertulang. Beton adalah salah satu bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen (pc), pasir, splite/kerikil, air dan bahan tambah lainnya yang diperlukan. Sedang beton bertulang adalah beton biasa yang didalamnya dipasang tulang baja. Tulangan baja tersebut berfungsi untuk menambah kekuatan beton terhadap tegangan tarik dan pengaruh penyusutan. Salah satu sifat beton adalah mempunyai kekuatan terhadap desak cukup besar, tetapi kekuatan terhadap tariknya relatif rendah.

Pada perhitungan konstruksi beton atau analisis struktur beton telah dikenal struktur beton elastik dan struktur beton ultimit.

### 1. Struktur Beton Elastik

Analisis struktur beton elastik lebih dikenal dengan metode elastik atau cara n, yaitu analisa struktur beton atau perhitungan struktur betonnya berdasarkan tegangan ijin  $\sigma$ . Tegangan ijin diperoleh dari dari kuat bahan dibagi dengan faktor aman yaitu  $\gamma_p$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_s$ . Kuat bahan untuk betonnya digunakan kuat desak karakteristik  $\sigma_b$  dan bisa dilihat pada (buku PBI 1971 tabel 10.4.2). Sedangkan kuat bahan untuk bajanya digunakan batas luluh karakteristik atau batas regang 0,2 %). Tegangan ijin bajanya  $\sigma_a$  tercantum pada (buku PBI 1971 Tabel 10.4.1). Untuk faktor amannya terdapat dalam (buku PBI 1971 Pasal 101 atau Tabel 10.1) yang tersusun oleh koefisien-koefisien seperti :

- a. Koefisien pakai  $\gamma_p$ , untuk memperhitungkan akibat oleh penggunaan dalam konstruksinya,

- b. Koefisien bahan  $\gamma_m$ , untuk memperhitungkan akibat oleh penyimpangan-penyimpangan dalam pelaksanaannya,
- c. Koefisien pakai  $\gamma_s$ , untuk memperhitungkan kemungkinan-kemungkinan oleh beban kerja yang lebih.

## 2. Struktur Beton Ultimit

Analisis struktur beton ultimit lebih dikenal dengan metode ultimit, yaitu analisis struktur beton atau perhitungan struktur betonnya berdasarkan kuat rencana  $\sigma^*u$ . Kuat rencana adalah kuat bahan dibagi dengan faktor aman yaitu  $\gamma_p$ ,  $\gamma_m$ . Kuat bahan untuk betonnya digunakan kuat desak karakteristik  $\sigma^*bu$  atau bisa dilihat pada (buku PBI 1971 Tabel 10.2.1). Sedangkan kuat bahan untuk bajanya digunakan tegangan luluh karakteristik  $\sigma^*au$  atau tegangan karakteristik yang memberikan regangan tetap  $\sigma^*au$ . Tegangan bajanya tercantum pada (buku PBI 1971 Tabel 3.7.1).

Untuk faktor amannya terdapat dalam (buku PBI 1971 Pasal 10.1 atau Tabel 10.1) yang tersusun oleh koefisien-koefisien seperti :

- a. Koefisien pakai  $\gamma_p$ , untuk memperhitungkan akibat oleh penggunaan dalam konstruksinya,
- b. Koefisien bahan  $\gamma_m$ , untuk memperhitungkan akibat oleh penyimpangan-penyimpangan dalam pelaksanaannya.

Metode ultimit merupakan dasar analisis struktur beton SKSNI, dan juga merupakan dasar analisis perhitungan pada program komputer SAPCON.

Di dalam analisis struktur beton menurut SKSNI dalam perhitungannya diperlukan faktor keamanan yaitu faktor keamanan kuat perlu dan faktor keamanan kuat rencana.

a. Faktor keamanan kuat perlu

Agar struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka tiap macam beban harus diberi faktor beban/faktor keamanan. Contohnya kombinasi beban mati (D) dan kombinasi beban hidup (L), maka kuat perlu (U) yang harus diperhitungkan adalah  $U = 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L$  seperti yang tercantum pada pasal 3.2.2 SKSNI-91.

b. Faktor keamanan kuat rencana

Kuat rencana adalah kuat nominal dikalikan faktor reduksi ( $\phi$ ). Faktor reduksi untuk tiap macam beban bisa dilihat pada pasal 3.2.3 SKSNI-91.

Pada Tugas Akhir inipun komputer berperan sebagai alat bantu utama dalam menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Tinjauan Ulang Struktur Balok dan Kolom pada Gedung BHS Bank Jalan Gejayan Yogyakarta dengan bantuan program komputer SAP-90, yang merupakan salah satu alternatif dalam menyelesaikan analisis struktur.

3. Kelemahan dan Keunggulan Program SAPCON

Didalam Tugas Akhir ini penyusun dalam menganalisis struktur beton untuk analisis struktur 3 dimensi dengan menggunakan bantuan program komputer SAPCON..

Program komputer SAPCON juga mempunyai kelemahan dan keunggulannya yaitu antara lain : (Sumber : Modul SAP-90 Sigma Data Komputer).

a. Kelemahannya

- 1) Program SAPCON dalam menganalisis luas tulangan kolom harus mendefinisikan jumlah tulangan arah sumbu 2-2 dan arah sumbu 3-3.
- 2) Jumlah tulangan pada kolom harus simetris
- 3) Hanya dapat untuk kolom empat persegi panjang, kubus dan lingkaran.
- 4) Hanya dapat untuk balok segi empat dan balok T.
- 5) Untuk file pada program SAPCON harus terlebih dahulu membuat file pada program SAP-90.

b. Keunggulan

- 1) Fasilitas program SAPCON memungkinkan untuk menghasilkan luas tulangan pokok dan luas tulangan geser.
- 2) Walaupun dalam memasukkan data hanya pada tumpuhan tetapi SAPCON akan memprosesnya sepanjang elemen, sesuai dengan section yang diminta.
- 3) Kontrol kesalahan SAPCON sangat sederhana
- 4) Data SAPCON sedikit tetapi menghasilkan output yang banyak
- 5) Bisa menyeleksi beban atau kombinasi beban terbesar yang bekerja pada satu elemen
- 6) Adanya kontrol dimensi, tulangan, geser ataupun P aksial, sehingga memungkinkan hasil yang memuaskan
- 7) Lebih efisien dibanding cara konvensional
- 8) Dapat menghasilkan kurva interaksi kolom dalam 3 dimensi
- 9) Dalam koreksi dimensi tidak perlu kembali keprogram SAP-90, tetapi langsung pada program SAPCON.

## C. Landasan Teori

### 1. Prinsip Perencanaan

#### a. Daktilitas

Daktilitas struktur adalah perbandingan antar simpangan rencana maksimum dan simpangan leleh awal struktur yang ditinjau. Gedung dan semua unsur penahan gempa harus dirancang dan didetail sedemikian rupa sehingga benar-benar bersifat daktail, bila batas kekuatan elastisnya telah terlampaui. Hal ini karena beban yang dihitung menurut peraturan hanya untuk merancang batas kekuatan elastis struktur yang mampu menahan beban kecil atau sedang.

Menurut SK SNI T-15-1991-03 bahwa struktur beton bertulang dapat direncanakan dengan 3 (tiga) tingkat daktilitas :

#### 1) Tingkat Daktilitas 1 (elastis).

Struktur dengan daktilitas ini harus direncanakan agar tetap berperilaku elastis saat terjadi gempa kuat. Untuk ini beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor jenis struktur  $K = 4,0$ .

#### 2) Tingkat Daktilitas 2 (daktilitas terbatas).

Struktur dengan daktilitas ini harus direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu berperilaku inelastis terhadap beban siklis gempa tanpa mengalami keruntuhan getas. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur,  $K$  minimum sebesar 2,0.

#### 3) Tingkat Daktilitas 3 (daktilitas penuh).

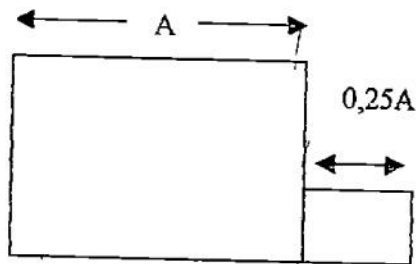
Struktur dengan daktilitas 3 atau daktilitas penuh harus direncanakan terhadap beban siklis gempa kuat sedemikian rupa dengan pendetailan



khusus sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemencaran energi yang diperlukan. Hal ini beban gempa rencana dapat diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur,  $K$  minimum sebesar 1.

b. Simetris

Struktur penahan beban gempa sedapat mungkin dibuat simetris agar tidak terjadi puntiran bila menerima beban gempa. Hal ini karena menurut pengalaman bila suatu gedung dilanda gempa, struktur yang simetris berkelakuan yang baik.

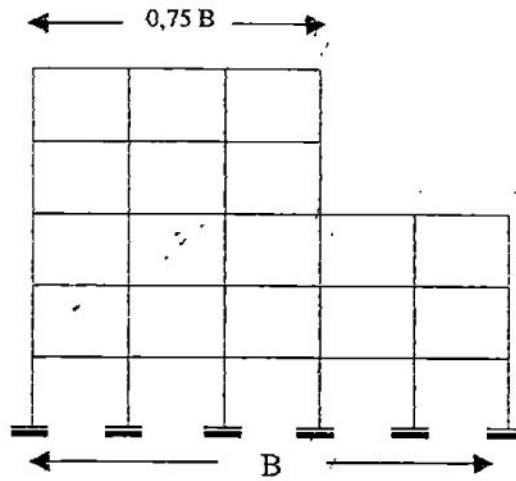


Gambar 2.1. Denah Gedung

Pada denah sebaiknya tidak ada tonjolan yang lebih dari 0,25 kali panjang bagian inti gedung (gambar 2.1.). Apabila terpaksa ada tonjolan yang lebih besar dari batas tersebut, maka strukturnya harus dihitung dengan analisis dinamis. Untuk menghindari hal yang sulit ini, sebaiknya tonjolan dibuat terpisah dari bagian inti.

c. Loncatan Bidang Muka

Pada gedung yang mempunyai loncatan bidang muka (tonjolan potong vertikal) ukuran lebar yang menjulang harus lebih besar dari 75 % lebar bagian bawah (gambar 2.2).



Gambar 2.2. Tampak Samping Gedung

d. Keseragaman Kekakuan Tingkat

- 1) Nilai banding antar berat lantai dan kekakuan tingkat tertentu tidak boleh lebih kecil dari 50 % atau lebih besar dari 150 % nilai banding rata-rata dari seluruh tingkat. Hal ini untuk menghindari adanya *soft story*, yang berarti sendi plastis terbentuk pada kolom bukan pada balok.
- 2) Bila pada suatu tingkat nilai banding antara berat lantai dan kekakuannya berselisih lebih dari 25 % dari nilai rata-rata seluruh tingkat, maka distribusi beban gempa harus dihitung dengan analisis dinamis. Hal ini karena pembagian beban horisontal pada setiap lantai yang dihitung dengan cara analisis statistik ekuivalen tidak sesuai dengan beban horisontal pada tiap lantai.

e. Pemencaran Energi

Pada prinsipnya beban gempa ialah beban bolak-balik (*cyclic loading*). Untuk menghindari keruntuhan gedung akibat terlanda gempa

besar, struktur harus mampu memencarkan energi, yaitu lendutan bolak-balik beberapa kali secara plastis. Apabila sistem strukturnya telah terpilih maka ditentukan tempat-tempat yang akan memencarkan energi kemudian elemen tersebut didetail sedemikian rupa agar benar-benar bersifat daktail bila dilanda beban gempa besar. Adapun elemen-elemen struktur yang lain diberi cadangan kekuatan elastis, agar elemen ini masih tetap elastis (mungkin hampir tercapai batas kekuatan elastisnya) pada waktu elemen yang diharapkan memencarkan energi telah mengalami deformasi plastis.

f. Besar Kekakuan Tingkat

Akibat beban gempa besar, terjadi retakan-retakan beton terutama di tempat terbentuknya sendi plastis dan sekitarnya. Hal ini mengakibatkan kekakuan strukturnya berkurang, sehingga dalam perhitungan, besar momen inersia dianggap hanya sebesar 75 % saja dari momen inersia sewaktu masih utuh. Reduksi momen inersia ini penting dalam menghitung besar lendutan struktur akibat beban gempa.

g. Diafragma dan Ikatan Lantai

Sistem ikatan lantai atau diafragma harus direncanakan untuk sehingga dapat membagi gaya-gaya pada tingkat unsur-unsur penahan horisontal yang ada dibawahnya.

Pada struktur beton bertulang, pelat lantai dapat dianggap mempunyai kekakuan arah horisontal yang tidak terhingga besarnya, sehingga lendutan horisontal pada suatu lantai sama besarnya pada masing-masing unsur vertikal.

#### h. Hubungan Antara Fondasi

Fondasi setempat harus saling dihubungkan satu sama lain dalam dua arah yang biasanya saling tegak lurus dengan suatu balok-hubung. Balok hubung ini harus mampu menahan beban aksial, beban tarik, ataupun tekan, sekurang-kurangnya 10% beban vertikal maksimum oleh gempa pada salah satu fondasi yang dihubungkan. Bila beban vertikal maksimum pada salah satu fondasi kurang dari 20% dari fondasi yang satu, maka beban aksial balok hubung harus diambil sekurang-kurangnya 10% dari beban rata-rata kedua fondasi tersebut.

### 2. Analisis Struktur Portal

#### a. Analisis Statik Ekuivalen

Cara analisis ekuivalen dapat dipakai apabila gedung memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Tinggi gedung tidak lebih dari 40 meter.
- 2) Denah gedung tidak menunjukkan adanya tonjolan yang lebih dari 25% dari ukurang sisi terbesar bagian inti.
- 3) Bagaian yang menjulang tidak kurang dari 75% dari ukurang gedung yang dibawah.
- 4) Perbandingan antar berat lantai dan kekakuannya pada setiap tingkatan tidak berselisih lebih besar dari 25% nilai rata-rata dari nilai banding tersebut dari seluruh tingkat.

b. Faktor-faktor penentu beban gempa rencana.

Besarnya beban gempa rencana menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$V = C.I.K.W_t$$

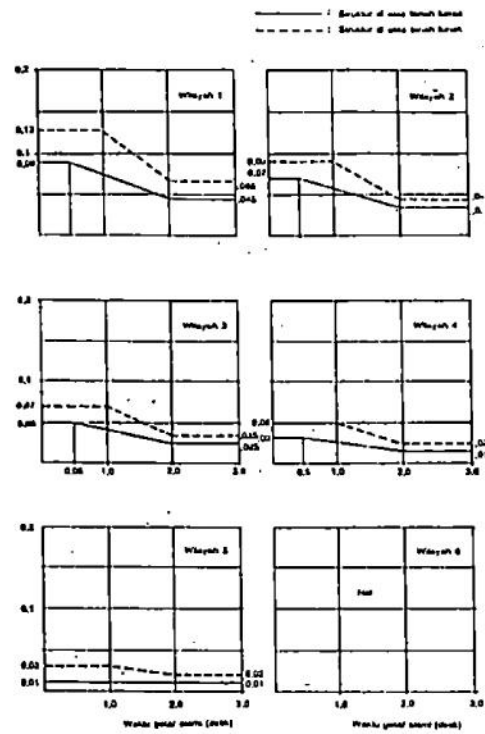
Dimana :

- V : Gaya geser dasar horisontal total akibat gempa.  
 C : Koefisien gempa dasar seperti ditentukan dalam spektrum respon percepatan.  
 I : Faktor keutamaan gedung.  
 K : Faktor jenis struktur  
 $W_t$  : Berat total bangunan

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi gaya geser dasar horisontal akibat gempa adalah akan diuraikan sebagai berikut.

1) Koefisien Gempa Dasar,  $C$

Koefisien gempa dasar berfungsi untuk menjamin agar struktur mampu memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada struktur. Koefisien  $C$  bergantung pada frekwensi terjadinya gerak tanah yang bersifat sangat merusak, yang berbeda-beda pada tiap wilayah, waktu getar alami struktur dan kondisi tanah setempat. Pedoman Perencanaan Tahan Gempa untuk Rumah dan Gedung menentukan besarnya nilai koefisien gempa dasar seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Koefisien Gempa Dasar

Waktu getar alami gedung dapat dihitung dengan rumus empiris

dibawah ini :

Untuk portal baja :

$$T = 0,085 H^{3/4}$$

Untuk portal beton :

$$T = 0,06 H^{3/4}$$

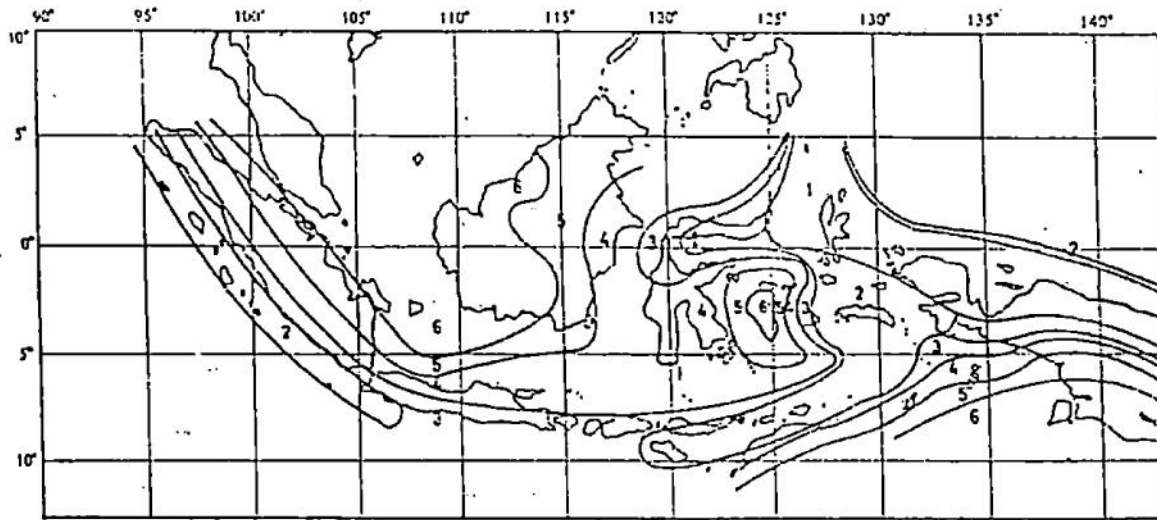
Untuk struktur lainnya :

$$T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}}$$

Dengan

H : Tinggi bagian utama gedung, dihitung dari tempat penjepit  
laretal (m)

B : Lebar bagian bawah gedung pada arah gempa yang ditinjau (m)  
 dan wilayah gempa di Indonesia dapat dilihat pada gambar 2.4.  
 dibawah ini.



Gambar 2.4. Wilayah-Wilayah Gempa untuk Indonesia

## 2) Faktor Keutamaan Gedung, I.

Tingkat kepentingan suatu struktur terhadap gaya bahaya gempa dapat berbeda-beda tergantung pada fungsinya. Oleh karena itu semakin penting struktur tersebut semakin besar perlindungan yang harus diberikan. Faktor keutamaan (I) dipakai untuk memperbesar beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang dan tingkat kerusakan yang lebih kecil. Nilai-nilai dan faktor-faktor keutamaan gedung dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Faktor keutamaan (I) untuk berbagai jenis gedung.

No.	Jenis Gedung	Faktor Keutamaan (I)
1.	Gedung-gedung monumental	1,5
2.	Fasilitas-fasilitas penting yang harus tetap berfungsi sesudah gempa terjadi, seperti : a. Rumah sakit. b. Bangunan sekolah. c. Bangunan penyimpanan bahan pangan. d. Pusat penyelamatan dalam keadaan darurat. e. Pusat pembangkit tenaga. f. Bangunan air minum. g. Fasilitas radio dan televisi. h. Tempat orang berkumpul.	1,5
3.	Fasilitas distribusi bahan gas dan minyak bumi di daerah perkotaan.	2,0
4.	Gedung-gedung yang menyimpan bahan-bahan berbahaya (seperti asam, bahan beracun, dll)	2,0
5.	Gedung-gedung lain	1,0

Sumber : Pedoman Perancangan Pembebanan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987.

### 3) Faktor Jenis Struktur

Faktor jenis struktur (K) dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa daktilitas yang dituntut tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa kuat. Adapun penentuan faktor K dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.



Tabel 2.2. Faktor jenis struktur (K) untuk berbagai jenis gedung.

Jenis struktur gedung	Bahan-bahan dari unsur pemencar gempa	Faktor (K)
Portal Daktail	Beton bertulang	1,0
	Beton Pratekan	1,4
	Baja	1,0
	Kayu	1,2
Dinding geser berangkai daktail	Beton bertulang	1,0
Dinding geser kantilever daktail	Beton bertulang	1,5
	Tembok berrongga bertulang	3,0
	Kayu	2,5
Cerobong, tangki kecil	Beton bertulang	3,0
	Baja	3,0
Struktur lain		

Sumber : Pedoman Perancangan Pembebanan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987.

### 3. Distribusi Beban Gempa

Distribusi beban gempa ketiap lantai sepanjang tinggi gedung adalah dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V$$

Dimana :

$F_i$  : Beban horisontal yang terpusat pada lantai I

$H_i$  : Tinggi lantai I dari titik penjepitan tanah

$W_i$  : Beban total pada lantai i.

$V$  : Gaya gempa horisontal.

a. Jika perbandingan antara tinggi dan lebar gedung  $> 3$  maka :

1) 0,1 V dipusatkan di atap.

2) 0,9 didistribusikan sesuai dengan rumus diatas.

- b. Pada cerobong, 0,2 V terpusat di puncak dan 0,8 V didistribusikan menurut rumus diatas.
- c. Pada tangki air, beban horisontal V ditempatkan pada titik berat seluruh strukturnya (terpusat pada tangki dan isinya).
4. Waktu Getar Struktur dengan Cara *Rayleigh*.

Dengan melakukan analisa struktur, dapat dihitung bersama simpangan (*deformasi lateral total*) akibat gempa. Waktu getar struktur yang sebenarnya untuk tiap arah dapat dihitung berdasarkan simpangan dengan rumus *T Rayleigh* :

$$T = 6,3 \cdot \sqrt{\left( \frac{\sum W_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum F_i \cdot d_i} \right)}$$

Dimana :

$W_i$  : Beban vertikal (mati hidup) pada lantai i.

$F_i$  : Gaya gempa horisontal pada lantai i

$d_i$  : Deformasi lateral total akibat  $F_i$  yang terjadi pada lantai i ; dari hasil perhitungan analisis struktur.

$g$  : Percepatan gravitasi  $-9,81 \text{ m/dt}^2$

Jika *T Rayleigh* < 80% *T empiris* maka beban gempa harus dihitung ulang dengan *T Rayleigh*.

#### 5. Kuat Perlu

Agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan laik pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor beban berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 yakni sebagai berikut :

- a. Kuat perlu  $U$  yang menahan beban mati  $D$  dan beban hidup  $L$  paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2D + 1,6L$$

- b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin  $W$  harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban  $D$ ,  $L$  dan  $W$  berikut harus dipelajari untuk menentukan nilai  $U$  yang terbesar.

$$U = 0,75 (1,2D + 1,6L + 1,6W)$$

Dimana kombinasi beban harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup  $L$  yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya dan

$$U = 0,9D + 1,3 W$$

Dengan catatan bahwa untuk setiap kombinasi beban  $D$ ,  $L$  dan  $W$  akan diperoleh kekuatan  $U$  yang tidak kurang dari point a.

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (beban  $E$ ) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai  $U$  harus diambil sebagai :

$$U = 1,05 (D + L_R + E)$$

Atau

$$U = 0,9 (D + E)$$

Dimana  $L_R$  adalah beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan ketentuan SNI 1726 – 1989 F tentang Tata Caca Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung. Dalam hal ini nilai  $E$  ditetapkan berdasarkan ketentuan yang ditentukan dalam SNI 1726 – 1989 F tersebut di atas.

- d. Bila ketahanan terhadap tekanan tanah  $H$ , diperhitungkan dalam perencanaan, maka kekuatan yang diperlukan  $U$  minimum harus sama dengan :

$$U = 1,2D + 1,6L + 1,6H$$

Kecuali pada keadaan dimana  $D$  atau  $L$  mengurangi pengaruh dari  $H$ , dalam hal ini nilai maksimum dari  $U$  ditentukan dengan mengganti  $1,2D$  dengan  $0,9D$  dan nilai  $L$  diambil nol. Untuk setiap kombinasi dari  $D$ ,  $L$  dan  $H$ , nilai  $U$  tidak boleh lebih kecil dari poin a.

- e. Bila ketahanan terhadap pembebanan akibat berat dan tekanan *fluida*, yang berat jenisnya dapat ditentukan dengan baik dan maksimum ketinggian  $F$  yang terkontrol diperhitungkan dalam perencanaan, maka beban tersebut harus dikalikan dengan faktor beban 1,2 dan ditambahkan pada semua kombinasi beban yang memperhitungkan beban hidup.

## 6. Petunjuk Pemakaian Program SAP-90 Portal 3 Dimensi

- a. Istilah-istilah dalam SAP-90

### 1) *Joints*

Merupakan titik-titik kumpul (*nodal*) yang menjadi dasar terbentuknya geometri struktur. Setiap *Joints* diberi nomor (satu nomor satu titik).

### 2) *Elements*

Elemen dibentuk dengan menghubungkan *joint-joint* yang telah didefinisikan sebelumnya. Setiap elemen diberi satu nomor.

### 3) *Degrees of Freedom (DOF)*

Setiap *joints* pada model struktur 3 dimensi mempunyai enam komponen displacement yang merupakan derajat kebebasan bergerak

(DOF) *joints* tersebut. Tiga translasi dalam arah sumbu global  $x,y,z$  dan tiga displacement rotasi terhadap sumbu global  $x,y,z$  DOF yang bernilai nol adalah DOF yang tidak aktif, bermanfaat untuk menghitung reaksi yang timbul, sedangkan DOF yang bernilai satu adalah DOF aktif, yang bermanfaat untuk menghitung displacement.

#### 4) *Joint Coordinat Generation*

Untuk menghemat waktu pendefinisian joint, SAP-90 memberikan beberapa fasilitas pendefinisian joint :

##### a) *Linear generation*

Bila dua joint sudah didefinisikan, program akan membentuk data untuk joint yang berada pada garis antara dua titik tersebut dengan interval yang sama.

##### b) *Quadrilateral generation*

Bila empat joint sudah didefinisikan, program akan membentuk data untuk joint yang berada diantara keempat titik tersebut dengan interval yang sama dalam dua arah.

##### c) *Frontal generation*

Pilihan ini digunakan untuk mendefinisikan joint dalam area segi empat, joint yang dibentuk dalam dua arah dan intervalnya tidak harus sama, umumnya digunakan dalam membentuk model struktur bangunan tingkat banyak.

##### d) *Lagrangian generation*

Pilihan ini banyak digunakan untuk mendefinisikan joint pada area yang dibatasi oleh empat sisi pada bidang permukaan dalam ruang yang cukup kompleks

e) *Cylindrical dan spherical generation*

Pilihan ini untuk mendefinisikan *joint* yang berada dalam garis yang membentuk lingkaran

b. *Preparation data* (persiapan data)

1) *Geometri model*

*Space struktur* (struktur ruang 3 dimensi)

2) *Joint coordinates*

Jarak koordinat terhadap sumbu x, sumbu y, sumbu z

3) *Element*

Elemen yang digunakan elemen *frame*

4) *Material properties*

Jenis bahan yang digunakan dan propertinya adalah beton

5) *Geometri properties*

Ukuran penampang bahan

6) *Boundary conditions*

Bentuk perletakan struktur yang digunakan :

a) Jepit sempurna (*fixed*)

b) Sendi (*pinned*)

c) Rol (*roller*)

d) Jepit elastis dll

7) *Loading structures*

Beban pada struktur :

a) *Joint load* ( beban pada titik nodal )

b) *Member load* ( beban pada elemen )

8) *Load case and combination*

Pembagian beban berdasarkan khususnya seperti :

- a) *Self weight*
- b) *Vertical load*
- c) Dll.

Kombinasi pembebanan seperti

- a)  $1,2 D + 1,6 L$
- b) dll

Di dalam melakukan persiapan data input tersebut diatas, semua satuan input harus konsisten. Data-data dalam bentuk angka yang berurutan cukup dipisahkan dengan tanda koma atau satu atau lebih spasi. Setiap baris yang pada kolom pertamanya diberi tanda C dan kolom keduanya kosong, merupakan komentar pada input data file dan tidak akan dibaca oleh program. Demikian juga komentar diakhir baris disebelah tanda *kolon* ': '. Untuk data yang tidak cukup ditulis pada satu baris, dapat disambung pada baris berikutnya dengan memberi tanda *back-slash* '\ '.

c. Analisa struktur portal 3 dimensi (*space frame*)

Struktur portal 3 dimensi atau *space frame* adalah struktur dengan enam DOF pada setiap titik nodalnya, yaitu translasi dan rotasi arah X, Y dan Z.

Detail input data blok :

1) *Title line*

Judul ( hanya boleh satu baris saja, maksimum 70 karakter )

2) *System*

*Control information*, biasanya berisi :

$L = nld$   $nld =$  jumlah *load condition*

3) *Joints*

Berisi tentang joint data :

Jid  $X = x$   $Y = y$   $Z = z$   $G = g1, g2, I$   
 $Q = Q1, Q2, Q3, Q4, in, jn$   
 $F = f, ni, nj, in, jn$   
 $A = c1, c2, c3, c4, nc, ic, a$   
 $S = s$

*Identifikasi joints dan koordinat*

Jid = nomor joint  
 $x$  = ordinat sumbu global X  
 $y$  = ordinat sumbu global Y  
 $z$  = ordinat sumbu global Z  
 $G$  = *linear generation*  
 $g1$  = nomor joint ke 1 *linear*  
 $g2$  = nomor joint ke 2 *linear generation*  
 $i$  = *increment nomor joint*  
 $Q$  = *quadrilateral generation*  
 $q1$  = nomor joint 1 *quadrilateral generation*  
 $q2$  = nomor joint 2 *quadrilateral generation*  
 $q3$  = nomor joint 3 *quadrilateral generation*  
 $q4$  = nomor joint 4 *quadrilateral generation*



- $i_n$  = *increment nomor joint pada sumbu i*  
 $i_j$  = *increment nomor joint pada sumbu j*  
 $F$  = *frontal generation*  
 $f$  = *nomor titik pusat frontal generation*  
 $n_i$  = *jumlah joint pada arah i ( tidak termasuk titik pusat )*  
 $n_j$  = *jumlah joint pada arah j ( tidak termasuk titik pusat )*  
 $i_n$  = *increment nomor joint pada sumbu i*  
 $i_j$  = *increment nomor joint pada sumbu j*  
 $L$  = *lagrangian generation*  
 $n_i$  = *jumlah joint pada arah i ( tidak termasuk titik pusat )*  
 $n_j$  = *jumlah joint pada arah j ( tidak termasuk titik pusat )*  
 $A$  = *cylindrical generation*  
 $c_1$  = *nomor titik 1 cylindrical generation*  
 $c_2$  = *nomor titik 2 cylindrical generation*  
 $c_3$  = *nomor titik 3 cylindrical generation*  
 $c_4$  = *nomor titik 4 cylindrical generation*  
 $i_c$  = *increment nomor joint*  
 $a$  = *increment sudut ( harus kurang dari 90 )*  
 $S$  = *faktor skala*  
 $s$  = *skala faktor untuk ordinat joint*

#### 4) *Restraints*

Berisi tentang *restraint data* :

$j_1 \ j_2 \ inc \ R = r_{ux}, r_{uy}, r_{uz}, r_{rx}, r_{ry}, r_{rz}$

$j_1$  = nomor titik ke 1

- j2 = nomor titik ke 2  
 inc = *increment nomor joint*  
 rux = kode *restraint* untuk *translasi* arah X  
 ruy = kode *restraint* untuk *translasi* arah Y  
 ruz = kode *restraint* untuk *translasi* arah Z  
 rrx = kode *restraint* untuk *rotasi* terhadap sumbu X  
 rry = kode *restraint* untuk *rotasi* terhadap sumbu Y  
 rrz = kode *restraint* untuk *rotasi* terhadap sumbu Z

### 5) *Frame*

Berisi tentang *control information frame* :

- NM = npro                      NL = nbsl  
 npro = jumlah jenis bahan struktur  
 nbsl = jumlah jenis pembebanan pada element

Material dan section property

- npro    A = a                      E = e                      U = u                      W = w                      dll

a = luas penampang elemen struktur

e = *modulus elastisitas*

u = angka *poisson's ratio*

w = berat persatuan panjang

Data pembebanan pada element

- nbsl    WL = w1, w2, w3    WG = wx, wy, wz    PLD = di, pi, fi

TRAP = c1, u1, v1, c2, u2, v2, c3, u3, v3, c4, u4, v4

w1 = beban terbagi merata arah sumbu 1 lokal

w2 = beban terbagi merata arah sumbu 2 lokal

- $w_3$  = beban terbagi merata arah sumbu 3 lokal  
 $w_x$  = beban terbagi merata arah sumbu X global  
 $w_y$  = beban terbagi merata arah sumbu Y global  
 $w_z$  = beban terbagi merata arah sumbu Z global  
 $d_i$  = jarak gaya  $i$  ada sumbu lokal 1  
 $p_i$  = gaya ke  $i$  pada sumbu lokal 2  
 $f_i$  = gaya ke  $i$  pada sumbu lokal 3  
 $c_1$  = jarak dari ujung  $i$  pada sumbu lokal 1  
 $u_1$  = beban terbagi merata pada jarak  $c_1$  pada arah sumbu 2  
 $v_1$  = beban terbagi merata pada jarak  $c_1$  pada arah sumbu 3

*Element location*

- $nel$   $ji$   $jj$   $M = m$   $G = g$   $NSL = 11, 12, 13$   $LP = n1, n2$   
 $nel$  = nomor *element*  
 $ji$  = nomor *joint* ujung  $i$   
 $jj$  = nomor *joint* ujung  $j$   
 $m$  = nomor material  
 $g$  = *generation*  
 $11$  = jenis beban 1  
 $12$  = jenis beban 2  
 $13$  = jenis beban 3  
 $n1, n2$  = nomor titik untuk mengidentifikasi sumbu lokal, terhadap sumbu global

6) *Loads*

Berisi tentang beban yang bekerja pada joint

$j1 \ j2 \ inc \ F = fx, fy, fz, mx, my, mz \ L = i$

$j1$  = nomor beban titik awal

$j2$  = nomor beban titik akhir

$inc$  = *increment nomor* beban titik

$fx$  = gaya arah sumbu global X

$fy$  = gaya arah sumbu global Y

$fz$  = gaya arah sumbu global Z

$mx$  = momen pada sumbu global X

$my$  = momen pada sumbu global Y

$mz$  = momen pada sumbu global Z

$i$  = kondisi beban ke  $i$

7) *Combo*

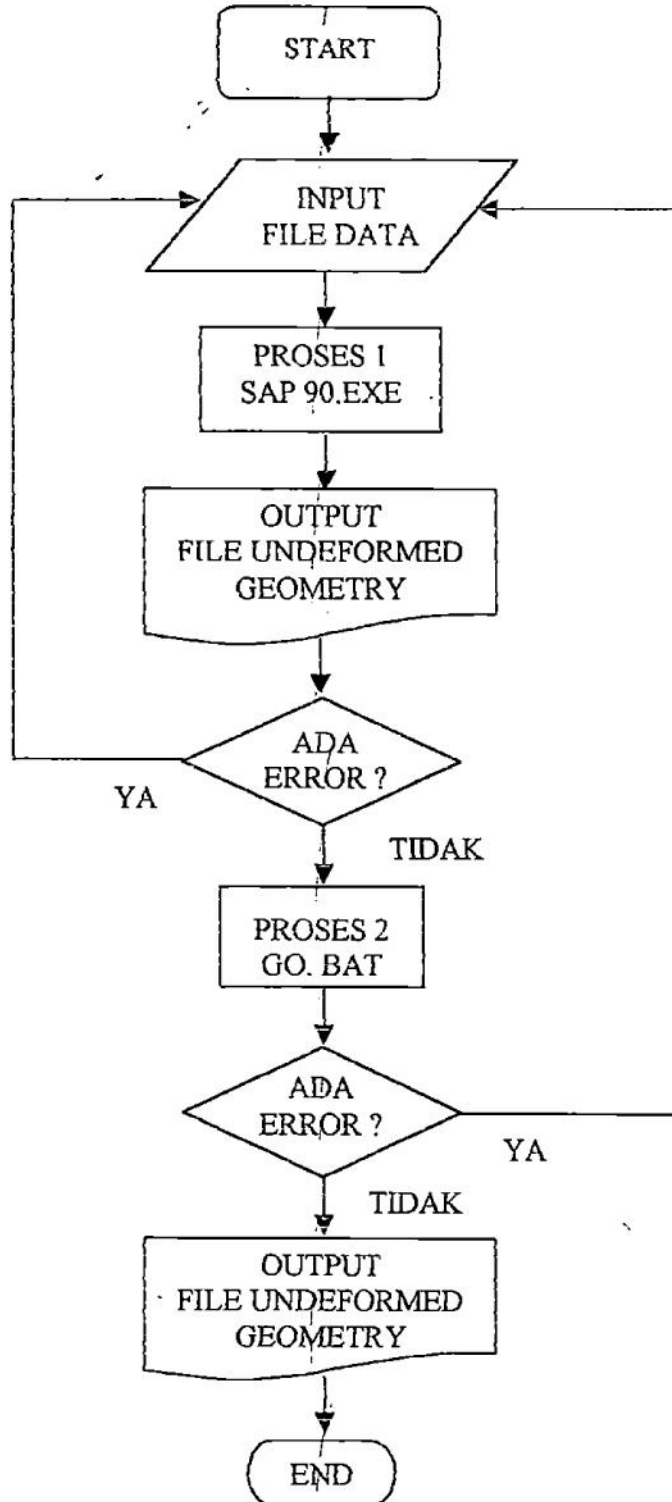
Berisi tentang kombinasi beban-beban yang bekerja pada portal

$nlc \ C = c1, c2, cn$

$nlc$  = nomor load combination

$c1, c2, cn$  = faktor pengkali untuk load condition

**BAGAN ALIR (Flow Chat)**  
**ANALISIS STRUKTUR DENGAN SAP-90**



## 7. Petunjuk pemakaian program SAPCON portal 3 dimensi

Format file data dalam SAPCON sama dengan file data dalam SAP-90

yaitu minimal ada 5 data block, yaitu :

### a. Title line

Yaitu berupa baris judul, dan hanya 1 baris maks 70 karakter, yang berisi data untuk struktur beton.

### b. Control

Berupa *control information* data :

IX = 0

Menunjukkan hasil yang normal yaitu berupa outputnya luas tulangnya dan besar tegangannya.

IX = 1

Outputnya berupa *checking data*

IU = E

Menunjukkan satuan yang akan digunakan yaitu E = *English units*.

IU = M

Menunjukkan satuan yang akan digunakan yaitu M = *MKS metric units*.

IU = S

Menunjukkan satuan yang akan digunakan yaitu S = *SI metric units*.

IC = nrc, npt, ipi

IC outputnya berupa diagram interaksi pada kolom yang berupa kurva 3 dimensi yang menunjukkan besarnya gaya yang bekerja pada kolom.

nrc = banyaknya kurva

npt = banyaknya titik dalam masing-masing kurva

$i_{pi} = 1$

berarti hasil dicetak

$i_{pi} = 0$

Berarti hasil tidak dicetak

$IK = 0$

Faktor tekuk dimasukkan

$IK = 1$

Faktor tekuk  $K = 1$

c. *Section property*

Berisi tentang informasi bahan yang digunakan

No material SH = C atau Sh = B E = e F =  $F_y, f'_c, f_{ys}, f'_{cs}$

C = menunjukkan elemen kolom

B = menunjukkan elemen balok

e = *modulus elastisitas*

$F_y$  = tegangan luluh baja =  $U_n$

$f'_c$  = tegangan karakteristik beton silinder 19 x 30

umur 28 hari =  $0.83 \cdot \sigma'_{bk}$

$f_{ys}$  = tegangan geser baja =  $F_y = U_n$

$f'_{cs}$  = tegangan geser ultimit beton =  $2,5 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Sesuai (tabel 10.2.1 PBI 71 NI - 2 hal 101)

d. *Frame*

Berisi tentang jumlah element yang ada pada konstruksi

nbi nbu ninc T = type

nbi = nomor elemen awal

nbu = nomor elemen akhir

*ninc = increment element*

*type = 1*

*Ductile moment resisting*

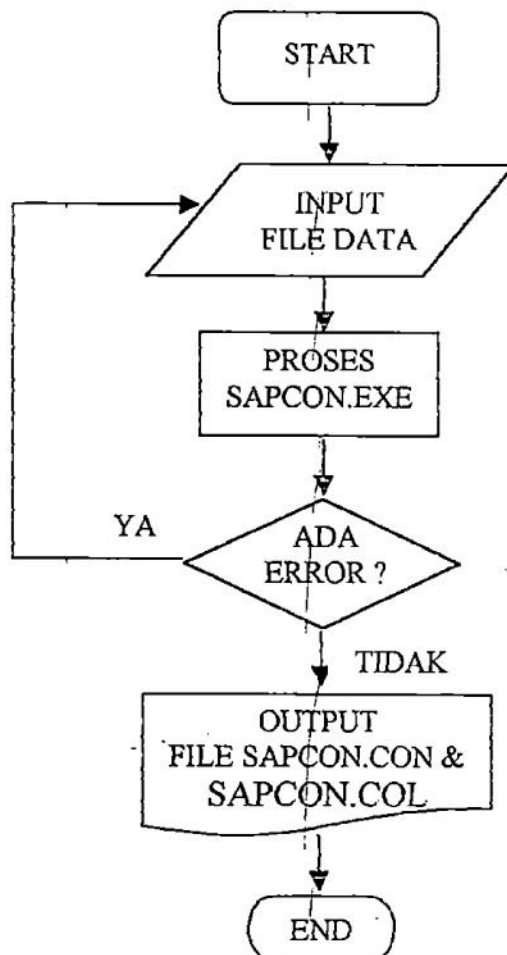
*type = 2*

*Nonductile moment resisting*

e. *Combo*

Berisi tentang kombinasi beban-beban yang bekerja pada konstruksi, biasanya disesuaikan dengan file dalam program SAP-90 nya.

**BAGAN ALIR (Flow Chat)  
ANALISIS STRUKTUR BETON DENGAN SAPCON**





Apabila dalam perencanaan tidak aman biasanya keluar control :

- CHK # 1. → balok beton terlalu pendek (dimensi diperbesar)  
biasanya hanya diganti pada SAPCON  
T = Dimensi diperbesar
- CHK # 2. → Persen tulangan pokok terlalu banyak
- CHK # 3. → Tulangan geser tidak aman
- CHK # 4. →  $P_o > P$  aksial (gaya desak N terlalu besar)
- CHK # 5. →  $P_c > P$  kritis (kolom terlalu langsing)
- CHK # 6. →  $P_o > P$  aksial (gaya tarik terlalu besar)